

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Dasar Teori

3.1.1 Pengecoran

Pengecoran adalah suatu proses manufaktur yang menggunakan logam cair dan cetakan untuk menghasilkan *parts* dengan bentuk yang mendekati bentuk geometri akhir produk jadi. Logam cair akan dituangkan atau ditekan ke dalam cetakan yang memiliki rongga sesuai dengan bentuk yang diinginkan. Setelah logam cair memenuhi rongga dan kembali ke bentuk padat, selanjutnya cetakan disingkirkan dan hasil cor dapat digunakan untuk proses sekunder. Jenis logam yang kebanyakan digunakan di dalam proses pengecoran adalah logam besi bersama dengan Aluminium, Kuningan, Perak, dan beberapa material non logam lainnya.

3.1.1.1 Klasifikasi pengecoran

Klasifikasi pengecoran berdasarkan umur dari cetakan, ada pengecoran dengan cetakan nonpermanen atau cetakan sekali pakai yang terbuat dari bahan pasir (*expendable mold*) dan ada pengecoran dengan cetakan permanen atau cetakan yang dipakai berulang-ulang kali yang biasanya dibuat dari logam (*permanent mold*) yang memiliki kegunaan dan keuntungan yang berbeda.

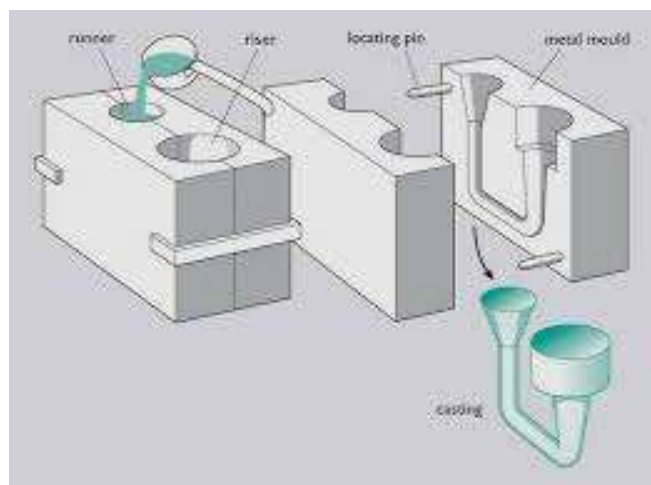
1. Pengecoran Permanen (*Permanent Casting*)

Pengecoran menggunakan cetakan permanen (*permanent Casting*) yaitu cetakan yang dapat digunakan berulang-ulang dan biasanya dibuat dari logam. Cetakan permanen yang digunakan adalah cetakan logam yang biasanya digunakan pada pengecoran logam dengan suhu cair rendah. Coran yang dihasilkan mempunyai bentuk

yang tepat dengan permukaan licin sehingga pekerjaan permesinan berkurang. Pengecoran permanen antara lain:

a. Pengecoran Gravitasi (*Gravity Permanent Mold Casting*)

Pengecoran gravitasi adalah pengecoran dimana logam cair yang dituangkan ke dalam saluran masuk. Karena adanya tekanan gravitasi, cairan logam mengisi ke seluruh ruang dalam rongga cetakan. Pengecoran gravitasi dapat dilihat pada gambar 3.1.

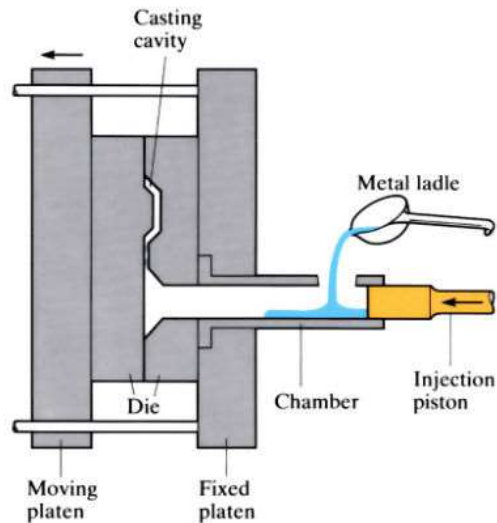


Gambar 3.1 Pengecoran Gravitasi

(Sumber : open.edu/openlearn)

b. Pengecoran Cetak Tekan (*Pressure Die Casting*)

Pengecoran cetak tekan/tekanan adalah pengecoran dimana logam cair yang dituangkan ke dalam saluran masuk menggunakan bantuan tekanan dari luar. Pengecoran *Pressure die casting* dapat dilihat pada gambar 3.2.

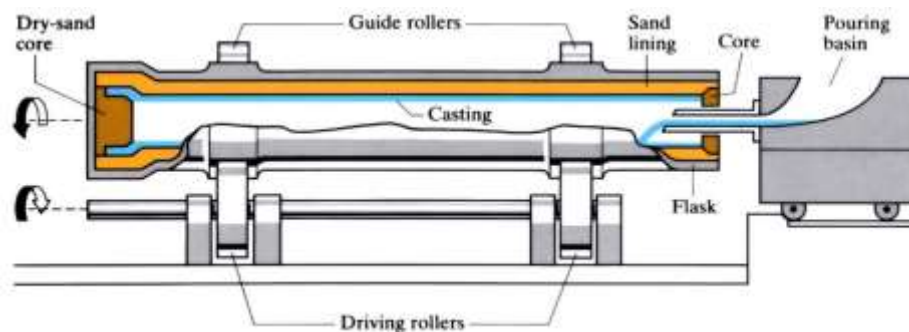


Gambar 3.2 *Pressure die casting*

(Sumber : open.edu/openlearn)

c. Pengecoran Sentrifugal (*Centrifugal Casting*)

Pengecoran sentrifugal adalah pengecoran yang menggunakan cetakan berputar, cetakan yang berputar akan menghasilkan gaya sentrifugal yang akan mempengaruhi kualitas coran. Coran yang dihasilkan akan memiliki bentuk padat, permukaan halus dan sifat fisik struktur logam yang unggul. Pengecoran sentrifugal biasanya digunakan untuk benda coran yang berbentuk simetris. Pengecoran sentrifugal dapat dilihat pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 *Centrifugal Casting*

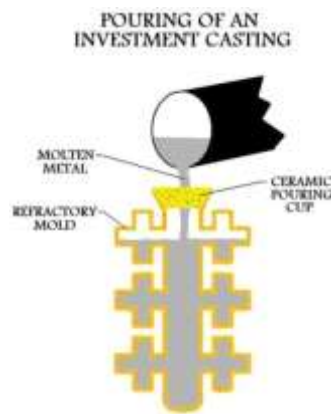
(Sumber : www.open.edu/openlearn)

2. Pengecoran non-permanen (*expendable mold*)

Pengecoran non-permanen menggunakan cetakan sekali pakai, namun setelah dipakai cetakan bisa dihancurkan dan di buat ulang. Pengecoran non-permanen antara lain :

a. *Investment Casting*

Pengecoran *investment* yaitu jenis pengecoran yang polanya terbuat dari lilin (*wax*), dan cetakannya terbuat dari keramik. Biasanya digunakan untuk membuat benda dengan kepresisian yang tinggi. Pengecoran *investment* dapat dilihat pada gambar 3.4.



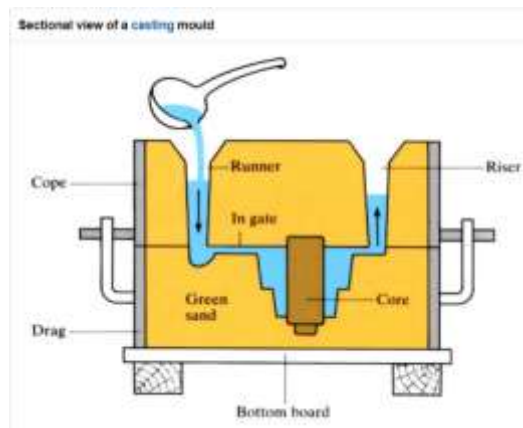
Gambar 3.4 *Investment Casting*

(Sumber : open.edu/openlearn)

b. *Sand casting*

Pengecoran logam menggunakan cetakan pasir (*sand casting*) adalah suatu proses manufaktur yang menggunakan logam cair dan cetakan untuk menghasilkan bentuk yang mendekati bentuk geometri akhir produk jadi. Pengecoran dengan cetakan pasir adalah yang tertua dari segala macam metode pengecoran. (Surdia, 2000)

Pengecoran *sand casting* dapat dilihat pada gambar 3.5



Gambar 3.5 *Sand casting*

(Sumber : open.edu/openlearn)

3.1.2 Aluminium

Aluminium adalah logam yang paling berlimpah di dunia dan merupakan unsur paling umum ketiga yang terdiri dari 8% kerak bumi. Fleksibilitas Aluminium membuatnya menjadi logam setelah baja yang paling banyak digunakan. Aluminium berasal dari mineral bauksit. Bauksit dikonversi menjadi Aluminium oksida (alumina) melalui Proses Bayer. Alumina kemudian dikonversi menjadi logam Aluminium menggunakan sel elektrolitik dan Proses *Hall-Heroult*.

Adapun sifat-sifat dari Aluminium antara lain : ringan, tahan korosi, penghantar panas dan listrik yang baik. Material properties aluminium secara lengkap dapat dilihat pada gambar 3.6.

Property	Value
Atomic Number	13
Atomic Weight (g/mol)	26.98
Valency	3
Crystal Structure	FCC
Melting Point (°C)	660.2
Boiling Point (°C)	2480
Mean Specific Heat (0-100°C) (cal/g.°C)	0.219
Thermal Conductivity (0-100°C) (cal/cms. °C)	0.57
Co-Efficient of Linear Expansion (0-100°C) ($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	23.5
Electrical Resistivity at 20°C ($\mu\Omega\cdot\text{cm}$)	2.69
Density (g/cm ³)	2.6898
Modulus of Elasticity (GPa)	68.3
Poissons Ratio	0.34

Gambar 3.6 Material properties Aluminium

(Sumber : Material teknik)

Aluminium memiliki beberapa kekurangan yaitu kekuatan dan kekerasan yang rendah bila dibanding dengan logam lain seperti besi dan baja. Aluminium juga memiliki karakteristik sebagai logam ringan dan mempunyai sifat-sifat yang sangat baik dan bila dipadu dengan logam lain bisa mendapatkan sifat-sifat yang tidak bisa ditemui pada logam lain.

3.1.3 Sistem Penomoran Aluminium

Klasifikasi paduan Aluminium di susun oleh the *International Alloy Designation System (IADS)*, klasifikasi tersebut didasarkan dari penamaan asosiasi Aluminium di Amerika Serikat. Logam paduan Aluminium dapat diklasifikasikan dalam paduan Aluminium tempa dan coran. Untuk klasifikasi Aluminium tempa dapat dilihat pada gambar 3.7

1xxx	Aluminium murni dengan persentase hampir 99,0%
2xxx (HT)	Paduan aluminium dengan unsure paduan utamanya adalah tembaga sebesar 1,9 – 6,8%
3xxx	Paduan Aluminium dengan paduan unsure utamanya Manganese sebesar 0,3 – 1,5 %
4xxx	Paduan Aluminium dengan paduan unsure utamanya silikon sebesar 3,6 – 13,5 %
5xxx	Paduan Aluminium dengan paduan unsure utamanya magnesium sebesar 0,5 – 5,5 %
6xxx (HT)	Paduan aluminium dengan paduan unsure utamanya Magnesium 0,4% - 1,5% dan Silikon 0,2-1,7%
7xxx (HT)	Paduan aluminium dengan paduan unsure utamanya Zinc sebesar 1 – 8,2% dan magnesium
8xxx	Paduan aluminium dengan paduan unsure utamanya lithium

Gambar 3.7 Klasifikasi Aluminium tempa

(Sumber : Material Teknik)

Setiap paduan Aluminium tempa disusun menggunakan empat digit nomor.

1. Nomor pertama mengindikasikan kelompok paduan berdasarkan unsur paduan utamanya.
2. Nomor kedua mengindikasikan modifikasi paduan dan batasan persentase *impurities*-nya.
3. Dua nomor terakhir mengindikasikan persentase kemurnian paduan Aluminiumnya.

Untuk klasifikasi Aluminium cor di designasi dengan empat digit dengan titik desimal memisahkan angka ketiga dan ke empatnya.

1. Angka pertama menunjukkan kelompok paduan sesuai dengan elemen paduan utama.
2. Dua digit kedua mengidentifikasi paduan Aluminium atau menunjukkan kemurnian paduan.
3. Digit terakhir menunjukkan bentuk produk. (Irawan, 2013)

Tabel 3.1 Klasifikasi Aluminium cor

1xx.x	Aluminium 99,0% minimum
2xx.x	Tembaga (4% ... 4,6%)
3xx.x	<i>Silicon</i> (5% ... 17%) dengan Tembaga dan atau Magnesium ditambahkan
4xx.x	<i>Silicon</i> (5% ... 12%)
5xx.x	Magnesium (4% ... 10%)
7xx.x	<i>Zinc</i> (6,2% ... 7,5%)
8xx.x	Paduan Aluminium dengan paduan unsur utamanya Tin
9xx.x	Lainnya

(Sumber : Material Teknik)

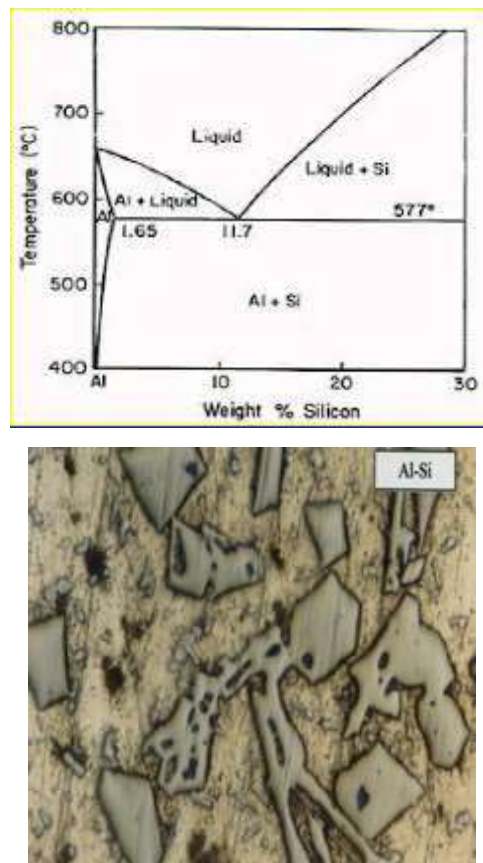
3.1.4 Paduan Aluminium

1. Silikon (Si)

Aluminium murni meleleh pada 660,4°C sehingga tidak cocok untuk *casting* dan hanya digunakan untuk aplikasi listrik (dimana konduktivitas yang tinggi sangat penting), dan beberapa aplikasi khusus lainnya. Kebanyakan paduan pengecoran mengandung Silikon sebagai elemen paduan utama. Silikon membentuk paduan dengan Aluminium pada 11,7% Si, 577°C. Penambahan Silikon meningkatkan karakteristik pengecoran sehingga meningkatkan fluiditas dan ketahanan *hot tear* (sobek panas). Fase-kaya Silikon keras, sehingga kekerasan paduan meningkat dengan konten Si tetapi keuletan dan *machineability* berkurang.

Paduan Al-Si merupakan material yang memiliki sifat mampu cor yang baik, dapat diproses dengan permesinan, dan

dapat dilas. Paduan Al-Si cocok digunakan pada pengecoran *HPDC (High Pressure Die Casting)*. Diagram fasa paduan Al-Si ditunjukkan pada Gambar. 3.8 dimana diagram fasa ini digunakan sebagai pedoman umum untuk menganalisa perubahan fasa pada proses pengecoran Al-Si. Batas kandungan silikon ditentukan berdasarkan proses pengecoran, dimana 5-7% Si dipakai untuk proses kecepatan pendinginan lambat (seperti *sand casting*), 7-9% Si untuk permanen mould, dan 8-12% Si untuk proses kecepatan pendinginan tinggi (*die casting*). Dasarnya adalah hubungan antara laju pendinginan, fluiditas dan fasa eutektik pada paduan. Diagram fasa dan struktur mikro Al-Si dapat dilihat pada gambar 3.8.



Gambar 3.8 Diagram fasa dan struktur mikro Al-Si
(Sumber : Pengetahuan Bahan Teknik)

Jenis paduan Al-Si menurut kandungan Silikon sesuai diagram fasa Al-Si terdiri dari 3 macam, yaitu:

a. *Hypoeutectic*

Paduan Al-Si disebut *Hypoeutectic* yaitu apabila pada paduan tersebut terdapat kandungan *Silicon* < 11.7% dimana struktur akhir yang terbentuk pada fasa ini adalah struktur *ferrite (alpha)* yang kaya akan Aluminium dengan struktur eutektik sebagai tambahan.

b. *Eutectic*

Paduan Al-Si disebut *Eutectic* yaitu apabila pada paduan tersebut terdapat kandungan *Silicon* sekitar 11.7% sampai 12.2%. Pada komposisi ini paduan Al-Si dapat membeku secara langsung (dari fasa cair ke fasa padat).

c. *Hypereutectic*

Paduan Al-Si disebut *Hypereutectic* yaitu apabila pada paduan tersebut terdapat kandungan *Silicon* lebih dari 12.2% sehingga kaya akan kandungan Silikon dengan fasa eutektik sebagai fasa tambahan.

Berdasarkan diagram fasa (Gambar 3.8), daerah eutektik berada pada kandungan 12% Si dan kondisi eutektik pada proses *casting* sangat diinginkan karena dua hal:

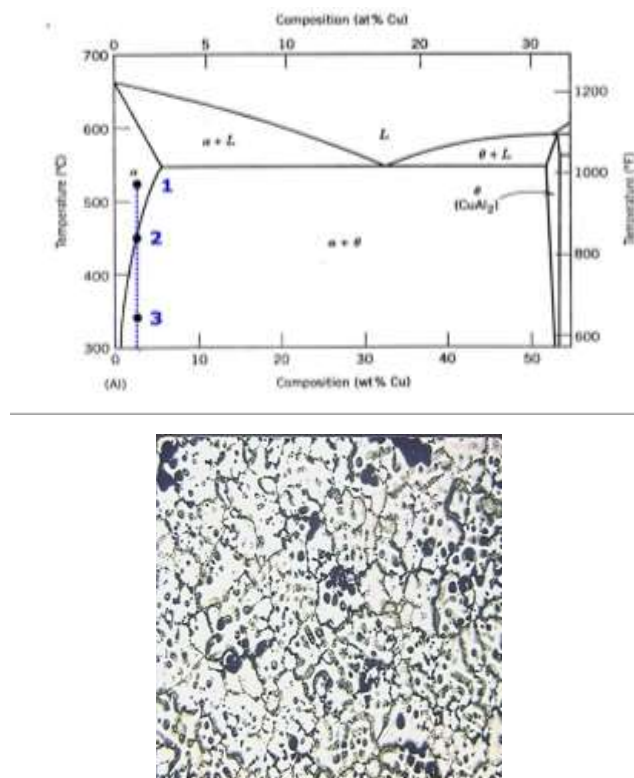
- a. Kondisi Eutektik menghindari fasa lumpur, sehingga pada saat soliditas tidak ada material yang membeku terlebih dahulu, sehingga kita dapat menghindari kegagalan dan memiliki fluiditas yang baik.
- b. Kondisi Eutektik memiliki titik lebur yang terendah, jika kita mengacu pada diagram Al-Si, hal ini menguntungkan karena efisien dalam bahan bakar. (Bayuseno, 2011)

2. Tembaga (Cu)

Tembaga ditambahkan untuk meningkatkan kekuatan mekanis dengan membentuk endapan. Pengaruh Tembaga pada paduan Aluminium adalah:

- Meningkatkan kekuatan dan kekerasan pada produk hasil cor dan pada kondisi perlakuan panas.
- Mengurangi ketahanan terhadap korosi
- Mengurangi ketahanan retak panas dan menurunkan mampu cor. (Avner, Sidney,H.,1974)

Diagram fasa dan struktur mikro Al-Cu dapat dilihat pada gambar 3.9.



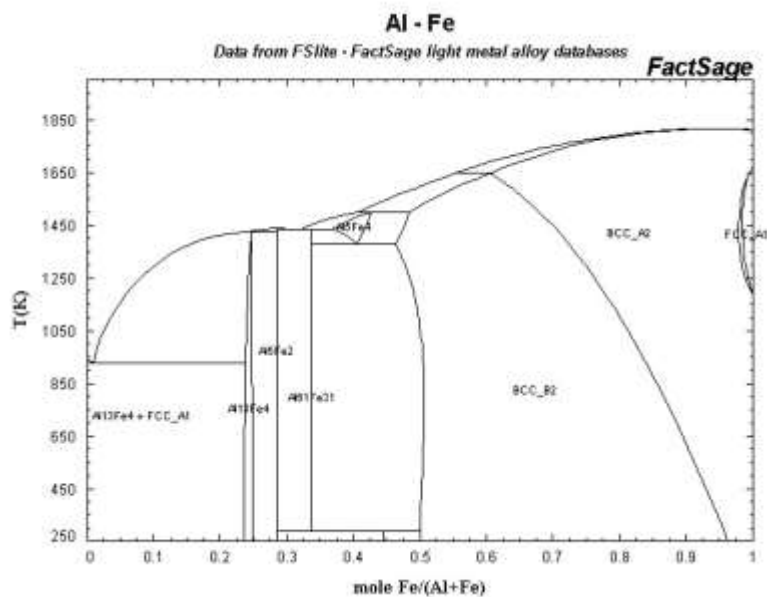
Gambar 3.9 Diagram fasa dan struktur mikro Al-Cu
(Sumber : Pengetahuan Bahan Teknik)

3. Besi (Fe)

Pengaruh penambahan Besi pada paduan Aluminium adalah:

- Meningkatkan ketahanan terhadap retak panas.
- Mengurangi kecenderungan *soldering* pada *die casting*.
- Pada kadar yang tinggi akan menyebabkan kegetasan.

Sebetulnya, besi merupakan unsur pengotor (impuritas) yang sering ditemukan dalam paduan Aluminium. Keberadaan besi dalam jumlah yang besar dari 0,05% akan membentuk fasa intermetalik seperti FeAl_3 , FeMnAl dan αAlFeSi , karena kelarutannya yang rendah pada fasa padat. Diagram fasa Al-Fe dapat dilihat pada gambar 3.10.



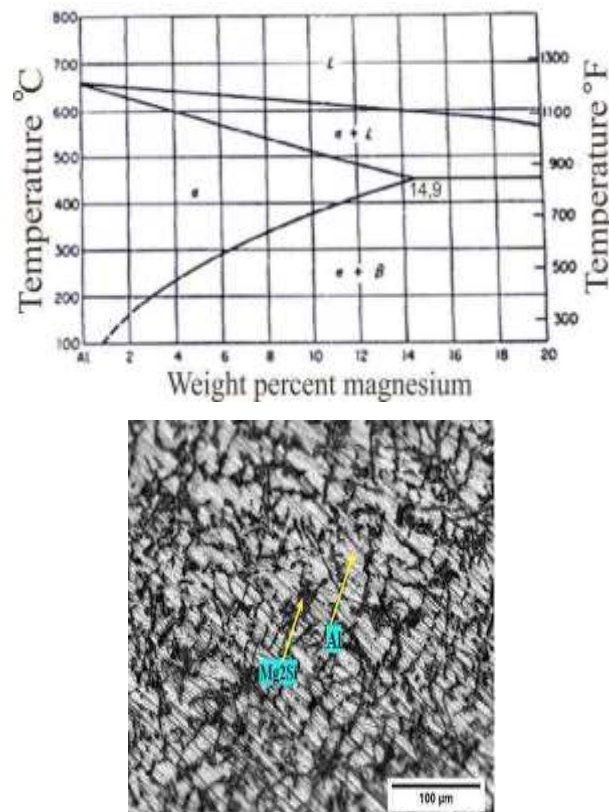
Gambar 3.10 Diagram fasa Al-Fe

(Sumber : Pengetahuan Bahan Teknik)

4. Magnesium (Mg)

Magnesium dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasan paduan Aluminium Silikon. Hal ini dikarenakan fasa MgSi yang berfungsi sebagai penguat (*reinforcement*). Fasa ini memiliki

batas kelarutan 0,7% Mg, dan jika melebihi yang terjadi adalah pelunakan pada matrik Aluminium. Komposisi Aluminium Silikon yang memiliki kekuatan tinggi kadar Magnesiumnya antara 0,4-0,7%.(Avner, Sidney, H., 1974) Diagram fasa dan struktur mikro Al-Mg dapat dilihat pada gambar 3.11.

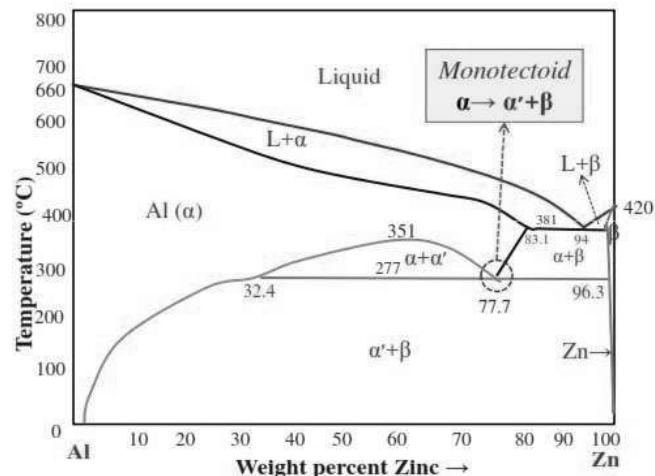


Gambar 3.11 Diagram fasa dan struktur mikro Al-Mg
(Sumber : Pengetahuan Bahan Teknik)

5. Seng (Zn)

Seng tidak memiliki keuntungan teknis bila ditambahkan kedalam paduan Aluminium Silikon, akan tetapi digunakan dengan tembaga dan/atau Magnesium, menghasilkan komposisi *heat-treatable* dan *ageing* yang unik. Pada kandungan *secondary alloy* kandungan seng sampai 3% memungkinkan digunakannya *scrap* (gram) Aluminium kelas

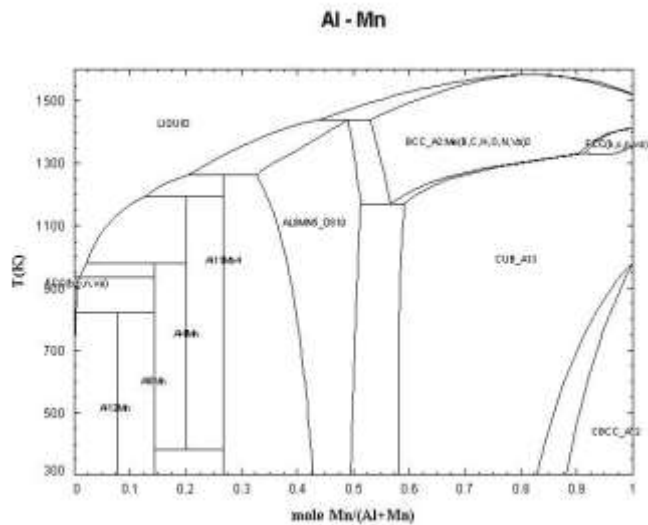
rendah, sehingga biaya produksi menjadi berkurang. Diagram fasa dan struktur mikro Al-Zn dapat dilihat pada gambar 3.12.



Gambar 3.12 Diagram fasa dan struktur mikro Al-Zn
(Sumber : Pengetahuan Bahan Teknik)

6. Mangan (Mn)

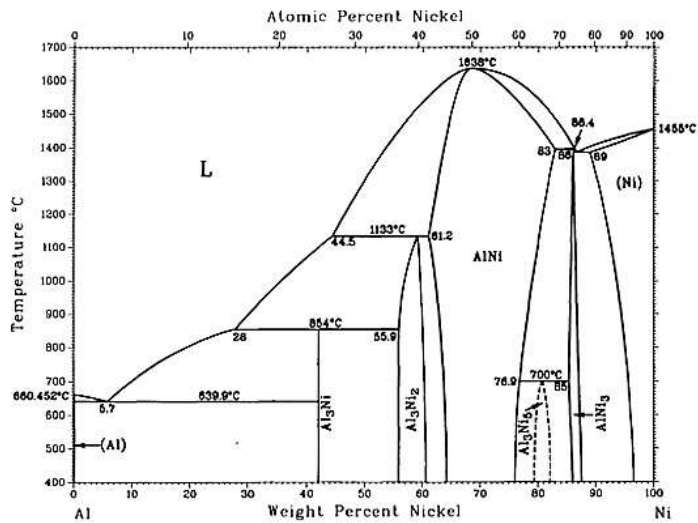
Mangan juga merupakan unsur pengotor yang sering hadir pada Aluminium. Konsentrasi normal mangan biasanya antara 0,05% - 0,5% Mn. Kehadiran Mangan akan mengurangi resistivitas Aluminium, namun disisi yang lain dapat meningkatkan kekuatan melalui mekanisme *solid solution strengthening* atau fasa intermetalik. Diagram fasa Al-Mn dapat dilihat pada gambar 3.13.



Gambar 3.13 Diagram fasa Al-Mn
(Sumber : Pengetahuan Bahan Teknik)

7. Nikel (Ni)

Biasanya digunakan dengan tembaga untuk mempertahankan sifat-sifat paduan pada kenaikan temperatur, Nikel memiliki kelarutan padat yang tidak mencapai 0,04%, selebihnya akan menghasilkan fasa intermetalik, yang umumnya berkombinasi dengan unsur Besi. Nikel sampai 2% akan meningkatkan kekuatan Aluminium dan menurunkan keuletan, umumnya nikel ditambahkan kedalam paduan Aluminium Silikon untuk meningkatkan kekerasan dan kekuatan pada temperatur tinggi dan mengurangi koefisien ekspansi *thermal*. Diagram fasa Al-Ni dapat dilihat pada gambar 3.14.

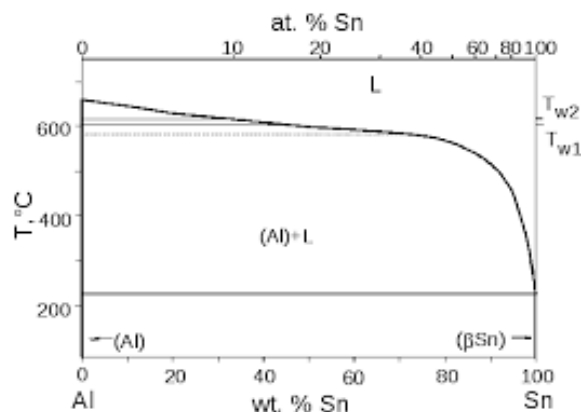


Gambar 3.14 Diagram fasa Al-Ni
(Sumber : Pengetahuan Bahan Teknik)

8. Timah (Sn)

Pengaruh penambahan Timah pada paduan Aluminium adalah:

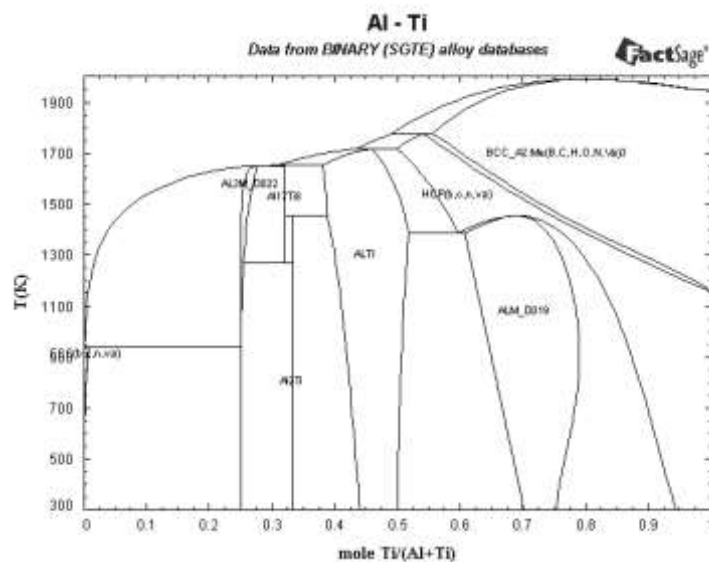
- Meningkatkan sifat anti gesek
- Memperbaiki sifat mampu mesin (*machinability*)
- Dapat mempengaruhi respon terhadap *precipitation hardening* pada beberapa sistem paduan. Diagram fasa Al-Sn dapat dilihat pada gambar 3.15.



Gambar 3.15 Diagram fasa Al-Sn
(Sumber : Pengetahuan Bahan Teknik)

9. Titanium (Ti)

Titanium digunakan untuk memperluas butir paduan Aluminium hasil pengecoran, bahkan sering dikombinasikan dengan sedikit unsur Boron. Apabila digunakan tanpa kandungan Boron pengaruhnya akan berkurang dengan meningkatnya waktu tahan Aluminium cair, atau akibat proses peleburan kembali. Penambahan Titanium 0,05%-0,05% dibutuhkan untuk mengurangi kecenderungan terjadinya retak. Diagram fasa Al-Ti dapat dilihat pada gambar 3.16. (Surdia & Saito, 1992)



Gambar 3.16 Diagram fasa Al-Ti

(Sumber : Pengetahuan Bahan Teknik)

3.2 Sifat – Sifat Material

Secara garis besar material mempunyai sifat-sifat yang mencirikannya, pada bidang teknik mesin umumnya sifat tersebut dibagi menjadi tiga sifat. Sifat – sifat itu akan mendasari dalam pemilihan material, sifat tersebut adalah :

1. Sifat Mekanik

Sifat mekanik material, merupakan salah satu faktor terpenting yang mendasari pemilihan bahan dalam suatu perancangan. Sifat mekanik dapat diartikan sebagai respon atau perilaku material terhadap pembebanan yang diberikan, dapat berupa gaya, torsi atau gabungan keduanya. Dalam prakteknya pembebanan pada material terbagi dua yaitu beban statik dan beban dinamik. Perbedaan antara keduanya hanya pada fungsi waktu dimana beban statik tidak dipengaruhi oleh fungsi waktu sedangkan beban dinamik dipengaruhi oleh fungsi waktu. Untuk mendapatkan sifat mekanik material, biasanya dilakukan pengujian mekanik. Pengujian mekanik pada dasarnya bersifat merusak (*destructive test*), dari pengujian tersebut akan dihasilkan kurva atau data yang mencirikan keadaan dari material tersebut. Setiap material yang diuji dibuat dalam bentuk sampel kecil atau spesimen. Spesimen pengujian dapat mewakili seluruh material apabila berasal dari jenis, komposisi dan perlakuan yang sama.

Pengujian yang tepat hanya didapatkan pada material uji yang memenuhi aspek ketepatan pengukuran, kemampuan mesin, kualitas atau jumlah cacat pada material dan ketelitian dalam membuat spesimen. Sifat mekanik tersebut meliputi antara lain: kekuatan tarik, ketangguhan, kelenturan, keuletan, kekerasan, ketahanan aus, kekuatan impak, kekuatan mulur, kekuatan leleh dan sebagainya.

2. Sifat Fisik

Sifat penting yang kedua dalam pemilihan material adalah sifat fisik. Sifat fisik adalah kelakuan atau sifat-sifat material yang bukan disebabkan oleh pembebanan seperti pengaruh pemanasan, pendinginan dan pengaruh arus listrik yang lebih

mengarah pada struktur material. Sifat fisik material antara lain : temperatur cair, konduktivitas panas dan panas spesifik.

Struktur material sangat erat hubungannya dengan sifat mekanik. Sifat mekanik dapat diatur dengan serangkaian proses perlakuan fisik. Dengan adanya perlakuan fisik akan membawa penyempurnaan dan pengembangan material bahkan penemuan material baru.

3. Sifat Teknologi

Selanjutnya sifat yang sangat berperan dalam pemilihan material adalah sifat teknologi yaitu kemampuan material untuk dibentuk atau diproses. Produk dengan kekuatan tinggi dapat dibuat dengan proses pembentukan, misalnya dengan pengerolan atau penempaan. Produk dengan bentuk yang rumit dapat dibuat dengan proses pengecoran. Sifat-sifat teknologi diantaranya sifat mampu las, sifat mampu cor, sifat mampu mesin dan sifat mampu bentuk.

3.3 Struktur Mikro (Metalografi)

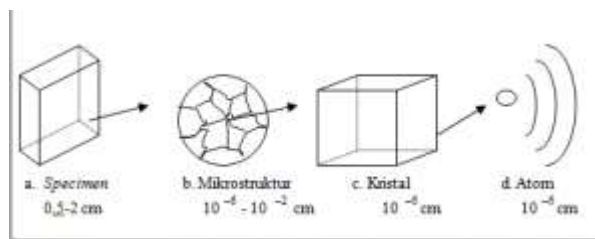
Struktur mikro adalah struktur terkecil yang terdapat dalam suatu bahan yang keberadaannya tidak dapat dilihat dengan mata telanjang, tetapi harus menggunakan alat pengamat struktur mikro diantaranya; mikroskop cahaya, mikroskop elektron, mikroskop *field ion*, mikroskop *field emission* dan mikroskop sinar-X. Penelitian ini menggunakan mikroskop cahaya, adapun manfaat dari pengamatan struktur mikro ini adalah:

1. Mempelajari hubungan antara sifat-sifat bahan dengan struktur dan cacat pada bahan.
2. Memperkirakan sifat bahan jika hubungan tersebut sudah diketahui.

. Adapun secara garis besar langkah-langkah yang dilakukan pada metalografi adalah:

1. Pemotongan spesimen (*sectioning*)
2. Pembikaian (*mounting*) apabila spesimen terlalu kecil
3. Penggerindaan, abrasi dan pemolesan (*grinding, abrasion and polishing*)
4. Pengetsaan (*etching*)
5. Observasi pada mikroskop optik

Pada metalografi, secara umum yang akan diamati adalah dua hal yaitu *macrostructure* (struktur makro) dan *microstructure* (struktur mikro). Struktur makro adalah struktur dari logam yang terlihat secara makro pada permukaan yang dietsa dari spesimen yang telah dipoles. Sedangkan struktur mikro adalah struktur dari sebuah permukaan logam yang telah disiapkan secara khusus yang terlihat dengan menggunakan perbesaran minimum 25x. Pemeriksaan struktur mikro memberikan informasi tentang bentuk struktur, ukuran butir dan banyaknya bagian struktur yang berbeda. Proses Pengamatan pada Struktur Mikro dapat dilihat pada gambar 3.17.



Gambar 3.17 Pengamatan pada Struktur Mikro
(Sumber : Pengetahuan Bahan Teknik)